

## 건축전열모델의 확장에 관한 연구

조민관<sup>†</sup>

강남대학교 도시건축공학부

### Validation of Extended Building Heat Transfer Model

Min-Kwan Cho<sup>†</sup>

Department of Architectural Engineering, Kangnam University, Kyounggi-Do 449-702, Korea

(Received March 12, 2003; revision received April 15, 2003)

**ABSTRACT:** Theory of the building heat transfer is generally limited to the heat flux to the surfaces of windows and walls, which influences the indoor climate of a building, in the field of architectural environmental engineering. While the heat flux from the buildings to their environment has been considered in the viewpoint of urban climate, its conventional theory have been rarely examined.

The purpose of this study is to propose a building-urban heat transfer model for defining the relation between the building and the urban climate by extending the building heat transfer model. In this study, the extended building heat transfer model, where response factor method is used, is established on the urban space and the indoor space by the boundary of building envelopes. Computer simulation (HASP/ACLD) is conducted on the subjected urban area by the established building-urban heat transfer model.

As a result it is logically proved that the short waves of solar radiation, which interact with long waves of radiation from the buildings and the earth, increase the urban air temperature and buildings largely influence on the urban climate.

**Key words:** Building heat transfer model(건축전열모델), Urban climates(도시기후), Heat load calculation method(열부하계산법), Heat gain(열취득), Cooling load(냉방부하), Response factor method(응답계수법)

#### 기호설명

$(C_p\gamma)_{air}$  : 공기의 열용량

$gd$  : 표준유리(투명 3mm)에 대한 직달일사 열취득률

$G_{gC}$  : 투과일사의 대류성분

$G_{gR}$  : 투과일사의 방사성분

$\bar{G}_n$  : 실의 열취득 총량

$G_v$  : 환기에 의한 열취득

$h^*$  : 표준유리면 태양고도

$I_L$  : 대기방사

$I_S$  : 일사

$K_g$  : 창유리 열관류율

$n$  : 시간

$q$  : 전열량 [W/h]

$Q_{ac}$  : 실내제거열량(공조제거열량)

$Q_{aoR}$  : 방사를 여진한 경우의 외기측 흡열응답

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-2803-803; fax: +82-31-281-3604

E-mail address: cho803@kangnam.ac.kr

- $Q_{cl}$  : 냉방부하
- $Q_{em}$  : 표면방사열량
- $Q_{emC}$  : 표면발열량
- $Q_h$  : 실내발열
- $Q_{hC}$  : 실내발열의 대류성분 열취득
- $Q_{hR}$  : 실내발열의 방사성분 열취득
- $Q_{rs}$  : 축열부하
- $S$  : 외벽 표면적 [ $m^2$ ]
- $S_g$  : 창유리 표면적
- $T_o$  : 외기 절대온도 [ $K^\circ$ ]
- $T_s$  : 외벽표면 절대온도 [ $K^\circ$ ]
- $V_v$  : 환기량

**그리스 문자**

- $\alpha_{Ci}$  : 실내측 표면대류열전달률
- $\alpha_{Co}$  : 실외측 표면대류열전달률
- $\alpha_{Ri}$  : 실내측 표면방사열전달률
- $\alpha_{Ro}$  : 실외측 표면방사열전달률
- $\alpha_{Ti}$  : 실내측 종합표면열전달률
- $\Delta\theta_r$  : 실온변동
- $\epsilon_L$  : 도시측 표면의 장파 방사량
- $\epsilon_S$  : 도시측 표면의 단파 방사량
- $\eta_C$  : 방사차폐계수
- $\eta_R$  : 대류차폐계수
- $\theta_{aoC}$  : 외기온을 여진한 경우의 외기측 흡열응답
- $\theta_i$  : 실내측 온도 [ $^\circ C$ ]
- $\theta_o$  : 외기측 온도 [ $^\circ C$ ]
- $\theta_o$  : 외기온 [ $^\circ C$ ]
- $\theta_{re}$  : 수정기온 [ $^\circ C$ ]
- $\theta_{rr}$  : 기준실온 [ $^\circ C$ ]
- $\theta_s$  : 외벽 표면온도 [ $^\circ C$ ]
- $\sigma_B$  : 스테판·볼츠만정수 [ $5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$ ]
- $\phi_{cl}$  : 냉방부하 가중계수
- $\phi_i$  : 실내측 열류
- $\phi_o$  : 외기측 열류
- $\phi_{rs}$  : 축열응답계수
- $\phi_{ii,j}$  : 외벽의 관류응답계수
- $\phi_{io}$  : 실내에서 외부로의 관류응답계수

**1. 서 론**

**1.1 연구의 목적 및 배경**

건축 환경공학 분야에서의 전열이론은 건축 내부로의 열류, 즉 벽이나 창 등의 실내측 표면에 나타나는 열류(실내기후에 영향을 미치는 열류)만을 대상으로 활발한 이론의 체계화가 진행되어져 왔다. 이것은 실내환경 형성에 건축전열이론의 주안점을 두었기 때문으로 사료된다. 한편으로는 도시기후의 관점에서 건축을 보면, 건축에서 건축물이 입지한 환경으로의 열 흐름이 주목되어 왔으나, 기존의 전열이론은 충분한 연구가 이루어지지 못한 것이 현실이다. 이러한 배경으로 본 연구에서는 종래의 전열이론에 건축 내부와 건축을 포함한 외부공간으로의 열의 흐름의 기술을 부가함으로써 도시기후의 관점에서 본 전열모델로도 활용이 가능한 목적으로 기존의 건축전열모델을 확장, 정리하고자 한다. 건축의 전열이론을 건축 전체의 전열모델로 집약한 것이 열부하 계산이라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 동적 열부하 계산방법에 하나인 응답계수법을 이용하여 건축전열모델을 구축하였다. 본 연구에서는 건축의 외표면을 경계로 건축의 외부공간으로서의 도시와 건축 내부의 두 가지 공간으로 설정하고 전열을 고찰하였다. 또한, 본 연구에서의 전열은 현열량만을 대상으로 하였다. 그 이유는 공조기가 잠열을 배열하는 경우와 실내에서 막대한 잠열발열이 있는 경우를 제외하고는 대부분의 건축물에서 도시로의 잠열방산열량은 극히 적은 양으로 간주되고 있기 때문이다.

이에 본 연구에서는 기존의 1차원 열수지 모델을 확장시켜 건축물 실내에서 실외로 이동되는 열의 경로를 수치모델로 제시하여 건축전열모델의 확장에 의한 건축과 도시기후의 인과관계를 명확하게 하기 위한 건축도시전열모델을 개발함을 목적으로 연구를 진행한다.

**1.2 1차원 열수지 모델**

본 연구에서 제안하는 열수지 모델을 1차원 열수지 모델화하면 지표면과 접지층 사이의 건축과 도시 canopy층을 새로 정의한 모델이다. 기존의 1차원 열수지 모델은 Myrup<sup>(1)</sup>의 연구에서 제창

된 것으로 최근에는 건축 분야에서도 활발히 응용연구가 진행되고 있다. 이러한 연구의 목적은 공통적으로 도시화에 따른 지표면의 변화가 지표면부근의 기온, 열수지에 미치는 영향을 정량적으로 파악하기 위함이다. Myrup의 1차원 열수지 모델에는 도시기후의 형성요인이 전부 파라미터로 포함되어 있고, 이러한 파라미터를 연구목적에 따라서 변화시키면 인과관계의 분석이 가능하다. 상기의 모델을 구성하는 파라미터는 극소수이고 파라미터 상호간의 관계가 명확하게 규명되는 점이 장점이지만, 반면 분석결과가 추상적이면서도 비현실적인 면이 단점으로 지적되어져 왔다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 그동안 파라미터를 추가하여 모델의 현실성을 보완하는 연구가 진행되고 있다. 지표면을 포함한 경계조건으로 canopy층을 정의하여 canopy층 내부의 풍속 분포로 식물군의 경험식을 적용하는 경우도 있고, 지표면을 평면이 아닌 건축물이 존재하는 가정으로 지표면 면적의 증가에 의한 효과에 대한 연구를 진행하기도 하였다. 또한 지표면의 상당 길이를 변형하여 인위적인 지표면의 형성에 의한 효과연구나 건물의 열용량과 인공배열을 고려한 연구도 진행되고 있다.

본 연구에서의 1차원 열수지 모델은 상기의 연구와 같은 맥락으로 진행을 하지만 도시 canopy 모델 중에 건축전열모델이 구체적으로 포함되어진 점과 열부하 계산에서 중요한 전열경로를 명확하게 제시하고 있는 점 등이 기존의 모델과 차별화되고 한층 진보된 모델이다. 즉, 열용량이나 발열량과 같은 추상적인 파라미터가 아닌 벽체의 구조 및 공기조화 등과 같은 현실적인 건축의 전열요소를 고려한 수치전산모델이다.

## 2. 열부하 계산법의 간략화

### 2.1 건축 내부에서의 열취득

건축의 내외에서 건축물의 열취득으로 여겨지는 것은 다음과 같다. 외벽 및 창으로부터의 전열로 실내에 전달되는 관류 열취득, 창을 통하여 실내에 일사가 도달하는 투과일사 열취득, 틈새나 환기에 의한 열취득, 그리고 실내의 조명기구 및 기기, 인체로부터 발생하는 실내발열 열취득 등은 다음과 같다.

#### 【상당외기온도】

외기의 공기온도와 방사를 등가적인 기온으로 전환한 등가온도를 의미한다. 상당외기온도는 외벽 표면의 열수지에 의해서 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} q &= \alpha_{Co}(\theta_o - \theta_s) + \epsilon_S I_S + \epsilon_L I_L - \epsilon_L \sigma_B T_s^4 \\ &= \alpha_{Co}(\theta_o - \theta_s) + \epsilon_L \sigma_B (T_o^4 - T_s^4) \\ &\quad + \epsilon_S I_S - \epsilon_L (\sigma_B T_o^4 - I_L) \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)의 제 2 항은 방사전열전달률( $\alpha_{Ro}$ )을 사용하여 다음과 같이 선형화할 수 있다.

$$\epsilon_L \sigma_B (T_o^4 - T_s^4) = \alpha_{Ro}(\theta_o - \theta_s) \quad (2)$$

식(2)을 변형시키면 다음 식과 같이 된다.

$$\begin{aligned} q &= (\alpha_{Co} + \alpha_{Ro})(\theta_o - \theta_s) + \epsilon_S I_S \\ &\quad + \epsilon_L (\sigma_B T_o^4 - I_L) \end{aligned} \quad (3)$$

한편, 대류열전달과 방사열전달을 종합열전달률( $\alpha_{To} = \alpha_{Co} + \alpha_{Ro}$ )을 이용하면 식(3)을 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$q = \alpha_{To}(\theta_{oe} - \theta_s) \quad (4)$$

식(3)와 식(4)으로부터 상당외기온도의 정의는 다음과 같다.

$$\theta_{oe} = \theta_o + \frac{\epsilon_S}{\alpha_T} I_S + \frac{\epsilon_L}{\alpha_T} (\sigma_B T_o^4 - I_L) \quad (5)$$

상기의 식 중에서( $\sigma_B T_o^4 - I_L$ )은 외기온도를 포함한 흑체의 방사량과 대기방사의 차, 즉 야간 방사부분에 해당한다. 식(5)와 같이 종합열전달률, 상당외기온도를 이용한 전열의 기술을 하는 경우에는 방사전열에 관해서는 벽 표면과 표면 근처의 대기, 표면 근처의 대기와 대기방사의 2 단계로 나누어서 기술할 필요가 있다.

#### 【외벽의 관류열취득】

상기의 상당외기온도를 이용해서 외벽의 관류

열취득을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$G_{t,n} = S \sum_{j=0}^{\infty} (\theta_{oe,n-j} - \theta_{rr}) \phi_{tj,n} \quad (6)$$

열적으로 두께를 무시할 수 없고, 응답의 시간적 진행을 무시할 수 없는 일반적인 벽체의 관류 열취득은 위의 식을 이용해서 계산을 한다.

**【창유리로부터의 관류열취득】**

창유리의 경우에는 열용량이 무시 가능하므로 응답계수는 이용하지 않고, 정상전열식을 이용하였다.

$$G_{t,n} = S_g K_g (\theta_{oe,n} - \theta_{rr}) \quad (7)$$

창유리를 통해서 실내로 침투한 일사는 직접 실내에 작용하므로 다음의 투과일사 열취득에서 설명한다.

**【투과일사열취득】**

일사의 열취득률은 유리에 입사한 일사 중 흡수 또는 투과성분에 따라서 실내측 취득열량의 비율로 정의할 수 있다. 표준유리의 직달일사, 천공일사에 대한 열취득률을 창외 종류별로 미리 구한 차단계수를 이용해서 보정·계산하면 식(8), 식(9)와 같다.

$$G_{gC,n} = (g_{d,n} I_{d,n} + g_s I_{s,n}) \eta_C \quad (8)$$

$$G_{gR,n} = (g_{d,n} I_{d,n} + g_s I_{s,n}) \eta_R \quad (9)$$

**【표준유리 직달일사 열취득률】**

직달일사의 열취득률은 유리의 광화학적인 성질에 따라서 결정되고 태양고도에 의존한다.

$$g_{d,n} = 2.3920 \sinh^* h_n^* - 3.8636 \sin^3 h_n^* + 3.7568 \sin^5 h_n^* - 1.3952 \sin^7 h_n^* \quad (10)$$

**【표준유리 천공일사 열취득률】**

천공일사에 대한 열취득률은 식(10)을 천공면으로 적분 평균한 것을 이용한다.

$$g_s = 0.808 \quad (11)$$

**【차폐계수】**

차폐계수는 표준유리의 열취득값을 1로 하고, 기타 각종 형식의 창(유리와 블라인드의 종류에 의한 분류)의 열취득을 상대적으로 표시한 것으로 방사성분과 대류성분으로 분리하여 계산한 값을 이용하였다.

**【환기에 의한 열취득】**

환기에 의한 열취득 계산은 틈새에 의한 계산 방법과 환기회수법 등을 열거할 수 있으나, 본 연구에서는 환기회수에 의한 계산방법을 이용하였다.

$$G_{v,n} = (C_p \gamma)_{air} V_{v,n} (\theta_{o,n} - \theta_{rr}) \quad (12)$$

**【실내의 발열에 의한 열취득】**

본 연구에서 기초로 한 동적 열부하 계산프로그램(HASP/ACLD)에서는 실내발열을 조명기구의 발열, 인체의 발열, 조명 이외의 실내설치기구의 발열로 분리되어져 있으나, 본 연구에서는 위와 같은 분리를 하지 않고, 전부 실내발열기구로 설정해서 실내에서 열이 발생할 경우만을 생각한다. 그 이유로는 도시기후에 미치는 영향을 생각하는 본 연구의 목적에서 고려하면 필요 이상 상세하게 설정을 한 경우에는 계산량이 막대하게 되기 때문이다.

$$G_{hR,n} = \frac{aRi}{aTi} Q_{h,n} \quad (13)$$

$$G_{hC,n} = \frac{aCi}{aTi} Q_{h,n} \quad (14)$$

기기발열은 대류성분과 방사성분으로 분리하여 취급한다.

**2.2 부하의 발생과 실온**

**【축열응답계수와 냉방부하가중계수】**

松尾는 각 부위의 실내측 표면에서의 열류를 고려해서 냉방부하가중계수와 축열응답계수를 이론적으로 유출해 냈다. 이것에 의하면 관류열취득의 대류성분은 그대로 실공기에 유입되고, 냉방부하가 된다. 한편, 대류성분은 냉방부하가중계수로 전환된 후에 냉방부하가 된다.

$$Q_{cl,n} = \bar{G}_{C,n} + \sum_{j=0}^{\infty} \bar{G}_{R,n-j} \varphi_{cl,j} \quad (15)$$

$$Q_{rs,n} = \sum_{j=1}^{\infty} \Delta\theta_{r,n-j} \phi_{rs,j} \quad (16)$$

식(15)에 따르면 열취득의 대류성분과 방사성은 냉방부하로 변화하는 과정이 다르기 때문에 처음부터 분리하여 구하여야만 한다.

#### 【자연실온과 공조제거열량】

본 연구에서 기본적으로 이용한 HASP/ACLD/8501에서는 냉방부하와 축열용담계수의 산출부분까지만 계산된다. 이후의 자연실온과 공조제거열량은 계산되지 않으므로 확장이 필요하다. 실의 열수지식은

$$Q_{cl,n} + \Delta\theta_{r,n} \phi_{rs,0} + Q_{rs,n} - Q_{ac,n} = 0 \quad (17)$$

이다. 그러나 식(17)에서

$$Q_{cl,n} + Q_{rs,n} - Q_{ac,n} \neq 0 \quad (18)$$

이라면, 실온변동이 발생하여 다음의 식과 같이 된다.

$$\Delta\theta_{r,n} = -\frac{1}{\phi_{r,0}} (Q_{cl,n} + Q_{rs,n} - Q_{ac,n}) \quad (19)$$

$$\theta_{r,n} = \theta_{rr} + \Delta\theta_{rr} \quad (20)$$

$$Q_{ac,n} = Q_{cl,n} + Q_{rs,n} \quad (21)$$

한편, 실온을 일정하게 유지하기 위해서는 식(21)의 좌항을 공조 등의 수단으로 실에서부터 제거하여야만 한다.

### 3. 건축에서 도시로의 열확산

본 장에서는 부하계산법의 범위가 아니라 도시로의 열 임팩트를 검토할 경우에 필요한 확장부분에 대해서 기술한다. 건축에서 도시로의 열확산을 계산할 경우에는 실내측은 설계설정 온도로서 도시측 표면에서 열을 고려하는 방법으로 전환된다.

#### 【실내측의 열적 임팩트】

실외로의 관류열량을 구하기 전에 실내측의 열

적 임팩트량을 생각할 필요가 있다. 공조가 이루어지고 있으면 실내는 공조설정온도로 유지되고 있고, 또한 공조가 행하여지지 않은 상태라면, 실온은 자연실온으로 가정할 수 있다. 그러나 어느 경우에도 측정대상은 공기온도이므로 실내측 벽 표면의 열임팩트는 대류 이외의 방사성분도 고려하여 방사성분을 추정하여야 한다. 따라서, 실의 취득 총열량은 다음과 같다.

$$\bar{G}_n = \bar{G}_{C,n} + \bar{G}_{R,n} \quad (22)$$

식(22)에서 냉방부하와의 차를 고려하면

$$\begin{aligned} \bar{G}_n - Q_{cl,n} &= \bar{G}_{R,n} - \sum_{j=0}^{\infty} \bar{G}_{R,n-j} \varphi_{cl,j} \\ &= (1 - \varphi_{cl,0}) \bar{G}_{R,n} \\ &\quad - \sum_{j=1}^{\infty} \bar{G}_{R,n-j} \varphi_{cl,j} \end{aligned} \quad (23)$$

식(23)과 같이 된다. 이 시점에서 실내측 표면에 도달하였으나, 대류성분으로 변화하지 않은 방사성분으로 존재하는 열이 되므로, 실내측의 열적 임팩트량은 실온에 반영되는 성분과 방사성분을 분리해야만 한다.

$$\Delta\theta_{re,n} = \frac{\bar{G}_n - Q_{cl,n}}{\alpha T_i} \quad (24)$$

$$\theta_{re,n} = \theta_{ra,n} + \Delta\theta_{re,n} \quad (25)$$

식(25)의 좌항은 수정기온이므로 실측의 열임팩트량이 된다.

#### 3.1 도시대기로의 방산열

건축에서 도시로의 방산열은 다음 3가지의 열류로 요약된다.

#### 【실내에서 외기로의 관류열량】

실내측에서 외기방향으로의 관류용담계수를 사용하여 다음과 같이 정의한다.

$$Q_{to,n} = \sum_{j=0}^{\infty} \theta_{re,n-j} \varphi_{to,j} \quad (26)$$

#### 【환기에 의해 외기로 수송되는 열량】

실온은 수정기온이므로 다음과 같이 정의한다.

식(8)과 달리 실내측에서 외기로의 열흐름을 정 방향으로 한다.

$$Q_{vs,n} = (C_P \rho)_{air} V_{v,n} (\theta_{re,n} - \theta_{o,n}) \quad (27)$$

**【외기온과 방사가 작용할 때 외벽에서의 방산열량】**

상당외기온도를 이용한 벽 표면의 열류계산은 상당외기온도의 유출과정에서 정의된 식(4)으로부터, 벽 표면과 대기와의 장파방사수수는 벽과 외기온도를 가지는 흑체와의 방사수수, 벽과 외기온도를 가지는 흑체와 대기방사 간의 수수(야간방사)로 분리 가능하다. 대기와 벽 표면 간의 방사전열을 우선적으로 해결하고 그후에 야간방사에 대하여 검토를 진행하는 순으로 연구를 진행하였다. 도시측의 열입팩트를 기온에 의한 것파방사에 의한 것으로 나누어 정의하면 다음의 식과 같다.

$$\begin{aligned} Q_{emC,n} &= -Q_{aoC,n} \\ &= -\sum_{j=0}^{\infty} \theta_{o,n-j} \phi_{qo,j} \end{aligned} \quad (28)$$

즉, 상기의 식은 외기온을 열적 임팩트의 경우에 외벽 표면의 응답을 구한 것이다.

다음은 방사열량이 외벽 표면에 열적 임팩트한 경우의 응답은 식(29)과 같다.

$$\begin{aligned} Q_{emR,n} &= \epsilon_S I_{S,n} - \epsilon_L \sigma_B (T_s^4 - T_o^4) - Q_{aoR,n} \\ &= \alpha_{To} \Delta \theta_{oe,n} - \sum_{j=0}^{\infty} \Delta \theta_{oe,n-j} \phi_{ao,j} \end{aligned} \quad (29)$$

그러나 계산식의 간략화와 계산속도의 향상을 위하여 다음과 같이 식(29)의 우항 중 일부분을 치환하였다.

$$\alpha_{To} \Delta \theta_{oe,n} = \epsilon_S I_{S,n} - \epsilon_L \sigma_B (T_s^4 - T_o^4) \quad (30)$$

구하고자 하는 열류는 식(28)과 식(29)의 합과 야간방사량을 더한 다음의 식으로 정의된다.

$$\begin{aligned} Q_{em,n} &= Q_{emC,n} + Q_{emR,n} \\ &= \alpha_{To} \Delta \theta_{oe,n-j} \phi_{ao,j} - \epsilon_L I_{n,m} \end{aligned} \quad (31)$$

상기의 식(31)의 좌항은 종래의 부하계산법에

서는 미정의된 새로운 값이다. 이것을 본 연구에서는 표면방사열량으로 정의하였다.

**3.2 실내에서 외기로의 관류응답계수와 외기측의 흡열응답계수**

관류열과 표면방사열량을 유도하면서 이용한 관류응답계수와 흡열응답계수는 본 연구에서 기본적으로 이용한 HASP/ACLD/8501의 계산법에는 존재하지 않으므로, 건축물에서 도시로 전달되는 방산열을 계산할 경우에는 함수에 대한 정의가 필요하다.

**【흡열응답계수】**

흡열응답의 전달함수를 정의한다. 실내측 온도와 열류, 외기온도와 열류를 가정하면 다층 평면벽에서의 온도와 열류의 관계가 4단자 행렬로 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{pmatrix} \theta_i \\ \phi_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a(s) & b(s) \\ C(s) & d(s) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_o \\ \phi_o \end{pmatrix} \quad (32)$$

상기의 식(32)에 경계조건으로 실내측 열류를 0으로 하고, 실외측 온도를 1로 할 경우의 열류가 구하고자 하는 전달함수가 된다.

$$\psi_{ao} = \frac{a(s)}{b(s)} \quad (33)$$

상기의 식을 시간영역으로 환원시키면 식(33)의 좌항을 응답계수로 정의할 수 있다. 따라서 외기측의 흡열응답계수는 다음과 같다.

$$Q_{ao,n} = \sum_{j=0}^{\infty} \theta_{oe,n-j} \psi_{ao,j} \quad (34)$$

**【외기로의 관류응답계수】**

실내에서 외기로의 전달함수는 4단자 행렬식 식(32)에 경계조건으로 온도를 부여했을 경우의 열류로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\psi_{bo} = \frac{1}{b(s)} \quad (35)$$

상기 식은 외기 측에서 실내로의 경우와 실내

측에서 외기로의 두 경우 모두 같은 응답계수를 이용 가능함을 알 수 있다.

**【건축의 열유입과 도시대기의 열확산】**

건물로의 열유입은 환기에 의한 것과 창에 의한 투과일사, 창과 외벽면에 의한 관류현상 등으로서 건물의 외부로부터 이루어진다. 이 경우 실내측 경계조건은 표준실온이다. 열유입의 결과 실내에 부하가 발생하고 수정기온이 성립되며, 수정기온이 현시점의 실온이 된다. 그러나, 건축물에서 외부(도시)로 방산되는 열은 수정기온을 실내측 경계조건, 외계 기상조건을 외기측 경계조건으로 계산된다. 방산열량은 환기에 의해서 수송된 열과 외기측에서 방산된 방산열량이다. 실내가 공조가 되고 있는 경우에는 공조제거열이 도시측에 방산되어지고 있지만 공조제거열량에 관해서는 연구를 진행 중이다.

**4. 건축전열모델 검증**

3장까지의 이론에서 구축된 건축전열모델을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하고 그 결과를 분석 고찰하여 본 연구에서 제안하는 건축전열모델의 신뢰성 검증을 한다. 이를 위하여 계산 대상지역을 일본 동경지역의 대표적 중심 업무지구인 마루노우찌(Marunouchi) 지역으로 선정하여 시뮬레이션을 하였다.

계산 대상지역의 열방사 계산을 위한 건축물 외표면의 Mesh는 미국 Altair사의 HYPERMESH

2.1을 사용하여 가급적 Mesh의 최대분할면적이 9m<sup>2</sup>(3m×3m)를 넘지 않게 파라미터를 설정하였고, 개구부설정은 별도의 데이터(실측데이터+동경도청 GIS 데이터)를 사용하여 정확성을 기하였다. 또한 건축물 외피에 대한 정확한 물성데이터가 존재하기 않기 때문에 본 연구에서는 건물 상호간 인접 벽체에 대한 열방사환경계산을 C.G.(Computer Graphics) 분야에서 범용적으로 이용되고 있는 P.R.M.(Progressive RadioCity Method)를 이용하여 계산하였다.

계산은 다음과 같이 계산조건 및 파라미터에서 제시한 사항으로 설정조건을 정하고 계산결과와 신뢰성과 정확성을 높이기 위하여 약 15일간의 예비계산을 행하고 난후에 주기정상상태 판정을 하여 정상상태에 도달한 경우의 해석치를 이용하여 분석과 고찰을 행하였다.

본 연구에서 구축한 도시 canopy 모델에서는 도시 canopy 기온이 정의되고, 또한 도시 canopy 기온은 건축에서 방출되는 방산열이 도시기후에 열적 임팩트화되어서 도시기후를 형성하는 열적 요소화로 이루어지는 것이기에 본 연구에서는 도시 canopy 기온을 열적 쾌적지표로 하여 분석과 고찰을 행하였다.

**【계산조건 및 파라미터】**

도시 canopy층의 경계조건인 접지층, 지중하부의 경계조건은 다음의 표로 제시한 여름철의 기상조건과 같다. 지중하부의 경계조건은 지중하층 온도로 일평균 지표면의 경계면 온도로 교체

Table 1 Boundary condition of Surface ground layer and Underground layer

Temperature of upper Surface ground layer	$Q_u = 26.0 + 2.5 \sin(t - 8)\pi/12, t = \text{time}$ 15 g/kg (constant) 5 m/s (constant) 1.0 m Concrete coat (evapotranspiration 0), Concrete 100, Soil 900 (evapotranspiration 0.2)
Humidity of upper Surface ground layer	
Velocity of upper Surface ground layer	
Roughness length	
Surface condition	
Boundary condition of underground	Surface temperature of day average (Depth 1 m)

Table 2 Incoming (↓) radiation

Vertical direct radiation	Bouguer equation
Horizontal sky radiation	Berlage equation
Atmospheric radiation	Yamamoto-Brunt equation
Solar position	1, AUG. (east longitude 139°46', latitude 35°41')

Table 3 Building condition

Floor area	Each building
Out-wall	Each building (GIS data)
Roof	Each building (GIS data)
Surface ground layer	Each building
Window	System window
Ventilation	1 time
Internal heat capacity	Each building
Out-wall surface short wave absorption rate	0.8
Out-wall surface long wave absorption rate	0.9
Window area rate	Each building

Table 4 HVAC system and Running schedule

Temperature	26℃
Humidity	50% RH
Running time	8:00~19:00 (8:00~9:00)
Heating time	9:00~19:00
Internal heat gain	Each building set (W/m <sup>2</sup> )
Supply air	4.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
HVAC	Air heater heat pump
HVAC capacity	10% upper load

Table 5 Chiller COP

Heater	Specification	COP
Chiller	Rotary	3.2
	Screw	3.3
	Turbo	3.6
Heat pump	Turbo (heat recycle)	3.5/5.1
	Air heater (rotary)	2.84/4.0
	Air heater (screw)	3.33/3.1
Absorption	Single	0.58
	Multi	1.3
	Hot and chilled water generator	0.97



Fig. 1 Grid of MARUNOUCHI.

nopy층에 입사하는 하향(↓) 방사량은 참고문헌 1, 3, 8, 9, 10의 이론식과 실험식을 참고하기 바란다.

Fig. 1은 HYPERMESH로 계산대상 지역인 마루노우찌(Marunouchi) 지역을 Mesh화한 그림으로 분할수 약 6,400개 정도로 3차원화하여 나타낸 것이다. 대상지역의 규모는 30개 건물이며 대부분이 공공건물과 대규모 사무용 건물로 이루어져 있다.

본 연구에서 제안한 도시전열모델 수치시물레이션 결과를 고찰하면, Fig. 2의 열수지는 기존의 모델 및 단순 열부하 해석에서는 파악하지 못했던 상향 장파장 성분의 시간대별 특성을 명확히 제시하였고, 도시 대기층에서 반사되어 지표면 2차 흡수가 이루어지는 하향 장파장 성분도 분석하였다. 즉, 입사된 단파장 성분과 건물 내부의 발열량이 합해져서 도시대기로 전부 방사되는 것이 아니라 그중 일부분은 다시 지표면과 도시대기로 흡수·산란되어서 도시지역에 특유의 도시

한다(그 이유는 지중 1m 정도는 지상층 상온과 연계되어 변동하기 때문이다). 평균 표면온도의 설정은 계산 전일의 일평균 온도값을 사용하여 계산방정식이 수렴할 때까지 최소 순차회수를 만족하는 방법으로 진행하였다. 따라서, 주기정상에도달한 후에는 지중하부의 열관류는 무시하여도 무방하다. 건물의 경우에는 건물 내부에 접지면(최하층 바닥)이 존재하기 때문에 주기정상에도달한 후에도 지중하부 열관류가 존재하지만, 그 양이 극히 미비하기 때문에 무시한다. 도시 ca-



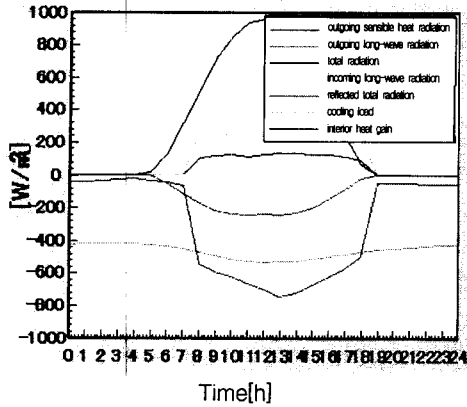


Fig. 2 Heat flux.

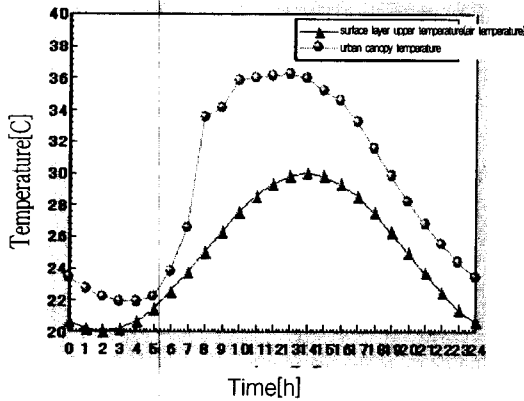


Fig. 3 Canopy temperature.

기후를 형성하고 이러한 과정 중에 건축물이 미치는 영향을 수치적으로 해석하고 그 결과를 제시하였다. Fig.3은 본 연구에서 정의한 도시canopy 기온과 접지층 상부온도(공기온도) 시간대별 변화를 나타낸 것이다. 해석결과를 고찰하면 오전 9시부터 오후 5시까지 약 5℃ 정도의 차이가 있으나 이는 대상지역이 업무시간대로 되면서 건물에서의 방산되는 열에 의한 영향이 커지기 때문이다. 오후 6시 이후에는 이러한 영향이 점차 줄어들어서 야간방사에 의한 영향이 작용하여 차가 현저히 감소하여 약 2℃ 정도의 차가 나타난다. Figs.4~6까지는 대상지역의 외표면 기온분포를 각각 06시, 12시, 18시에 따라서 변화를 나타낸 것으로 18시에는 12시 경우와 비교하면 현저히 감소한 경향을 나타내고 있으나 주간 축열에 의한 영향으로 최상층 외피부분이 장파장 성분 방사를 하고 있음을 알 수 있다. 이는 지표

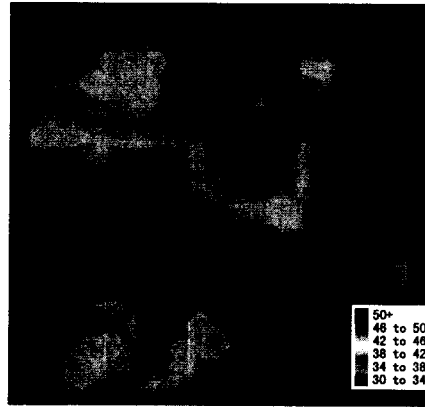


Fig. 4 Temperature distribution (am 6).

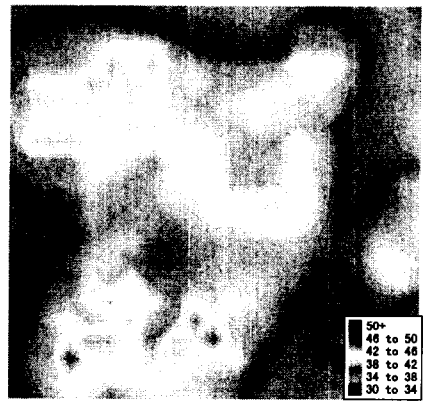


Fig. 5 Temperature distribution (pm 12).

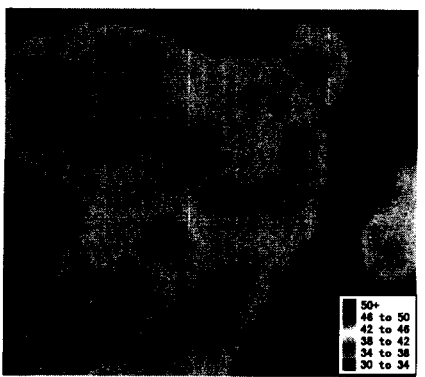


Fig. 6 Temperature distribution (pm 6).

면의 야간방사와 연계하여 야간 도시기온을 상승시키는 요인으로 작용하고 있고 여름철의 열대야 현상을 더욱더 심화시키는 요소임을 파악할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 도시측에서 건축 내부로 열이 유입된 후 도시에 열이 방산될 때까지의 전열과정을 유도하여 1차원 도시 전열모델을 구축하고 상세한 내용을 기술하였다.

구체적인 연구성과로는 다음과 같다.

(1) 건축의 외표면을 경계로 건축의 외부공간과 도시, 건축 내부의 2가지 공간을 설정하여서 건축전열을 고찰하였다.

(2) 본 연구에서 구축된 도시 건축전열모델을 응용하여 대상지역을 설정하고 컴퓨터 수치시물레이션을 행하여 그 결과 및 고찰을 수행하고 분석하였다.

(3) 분석결과에 의하면 대기로 유입되는 단파장 성분이 건축물과 지표면에서 방산되는 장파장 성분의 열방산과 상호작용하여 도시기온을 상승시키고 건축물이 도시기후에 막대한 영향을 미치는 것을 논리적으로 증명하였다.

금후의 과제로는 실내에 공조가 이루어질 경우의 공조 제거열(잠열)이 도시측에 방산되는 전열과정을 명확히 유도하는 것 등이 있다.

the urban heat island, *Journal of applied meteorology*, Vol. 8, pp. 908-918.

2. Oke, T. R., 1987, *Boundary layer climates*, University press, Cambridge, 2nd edition.
3. Lechner, N. 2001, *Heating Cooling Lighting Design Methods for Architects*, John Wiley & Sons, Inc., 2nd Edition.
4. Altair Computing, Inc., *Hyper Mesh Reference Manual Version 2.1*,
5. Kwok, B. 1992, *Analysis of Radiosity Techniques in Computer Graphics*, Master's Thesis, York University, May.
6. Shea, G. T., 1983, *Radiosity Rendering with Specular Shading*. Master's Thesis, University of Colorado, Oct.
7. Walton, G. N., 1986, *Algorithms for Calculating Radiation View Factors Between Plane Convex Polygons with Obstructions*, Nov.
8. Wernecke J. and Hartman, J., 1997, *VRML 2.0 Handbook*, Silicon Graphics, Inc., Oct. 1997.

참고문헌

1. Myrup, L. O., 1969, A numerical model on